



НАУКИ ОБ АТМОСФЕРЕ И КЛИМАТЕ/ATMOSPHERIC AND CLIMATE SCIENCES

DOI: <https://doi.org/10.60797/GEO.2026.7.1>

EDN: ZJFWKT

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ В АКТИВНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ НА ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

Научная статья

Кущев С.А.^{1,*}, Лиев К.Б.²¹ ORCID : 0000-0002-3380-4959;² ORCID : 0000-0002-6940-9977;^{1,2} Высокогорный геофизический институт, Нальчик, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (stasuk6[at]mail.ru)

Предложена: 01.04.2026; Принята: 13.05.2026; Опубликовано: 13.05.2026

Аннотация

В статье рассматриваются вопросы применения беспилотных авиационных систем (БАС) для активных воздействий на гидрометеорологические процессы. Представлены результаты испытаний лёгкого беспилотного летательного аппарата «OG-25», оснащённого самолётным аэрозольным комплексом «САГ-26КС» с пиротехническими элементами. Описаны тактико-технические характеристики оборудования, приведены схемы засева облаков с использованием БАС. Показано, что применение лёгких беспилотников эффективно для искусственного вызывания осадков и воздействия на туманы, тогда как для противогололёдной защиты необходимы аппараты тяжёлого класса. Обоснованы перспективы дальнейшего внедрения беспилотных технологий в практику активных воздействий.

Ключевые слова: беспилотные авиационные системы, активные воздействия, искусственное вызывание осадков, засев облаков, аэрозольный генератор, САГ-26, лёгкие беспилотники, гидрометеорологические процессы.

THE USE OF UNMANNED AERIAL VEHICLES IN ACTIVE IMPACTS ON HYDROMETEOROLOGICAL PROCESSES

Research article

Kushchev S.A.^{1,*}, Liev K.B.²¹ ORCID : 0000-0002-3380-4959;² ORCID : 0000-0002-6940-9977;^{1,2} High-Mountain Geophysical Institute, Nalchik, Russian Federation

* Corresponding author (stasuk6[at]mail.ru)

Suggested: 01.04.2026; Accepted: 13.05.2026; Published: 13.05.2026

Abstract

The article examines the issues of using unmanned aircraft systems (UAS) to actively influence hydrometeorological processes. The results of tests on the 'OG-25' light unmanned aerial vehicle, equipped with the 'SAG-26KS' aircraft aerosol system with pyrotechnic elements, are presented. The tactical and technical characteristics of the equipment are described, and diagrams of cloud seeding using UAS are provided. It is shown that the use of light unmanned aerial vehicles is effective for artificial precipitation enhancement and the influence on fog, whereas heavy-class aircraft are required for hail protection. The prospects for the further implementation of unmanned technologies in active weather modification are substantiated.

Keywords: unmanned aircraft systems, active impacts, precipitation enhancement, precipitation enhancement, air spray generator, SAG-26, light unmanned aerial vehicles, hydrometeorological processes.

Введение

Беспилотные авиационные системы (БАС) находят широкое применение в различных сферах благодаря своей способности выполнять сложные задачи с высокой эффективностью. Они находят свое применение как в военном секторе, так и в гражданском (доставка товаров, поисково-спасательные операции, мониторинг пожаров, сельское хозяйство, аэрофотосъемка, обследование состояния инфраструктуры, градоустройство, геодезия, научные исследования). Беспилотные авиационные системы продолжают находить новые области применения, расширяя горизонты их влияния на различные сферы человеческой деятельности [1].

Целью данной работы является анализ возможного применения в активных воздействиях на гидрометеорологические процессы.

Беспилотные авиационные системы в настоящее время активно внедряются в научные исследования, открывая новые возможности для сбора данных с высоким пространственно-временным разрешением. Одним из ключевых направлений их применения является метеорология: с помощью БАС проводят измерения погодных параметров в пограничном слое атмосферы, исследуют динамику конвективных явлений и облачных процессов [2], [3]. В отличие от традиционных методов, основанных на использовании пилотируемой авиации и наземных генераторов аэрозолей, БПЛА обеспечивают более высокую оперативность, гибкость и возможность работы в труднодоступных или потенциально опасных метеорологических условиях. Наиболее активно подобные технологии развиваются в странах с дефицитом водных ресурсов, в частности в Объединенных Арабских Эмиратах, где реализуются программы

искусственного увеличения осадков с применением дронов для введения в облака гигроскопических частиц или создания электрических зарядов с целью интенсификации процессов коагуляции капель. Аналогичные исследования проводятся в Китае, где БПЛА используются для доставки реагентов в облачные системы.

Важное место занимает мониторинг криосферы — беспилотники позволяют детально отслеживать состояние ледников, снежного покрова и изменения в полярных регионах, включая оценку таяния и динамики ледового покрова. В области экологии и биологии БАС используются для наблюдения за поведением животных без вмешательства в их естественную среду обитания, а также для картографирования растительности, оценки состояния экосистем и оперативного выявления антропогенных изменений окружающей среды. Таким образом, применение беспилотных технологий охватывает широкий спектр задач — от изучения атмосферных процессов до мониторинга природных комплексов и их динамики под влиянием климатических и антропогенных факторов. Сотрудники Высокогорного геофизического института приняли участие в испытаниях по инициированию снежных лавин с использованием взрывчатых веществ и беспилотных летательных аппаратов. Испытания завершились успешно, что позволило разработать руководящий документ по применению беспилотных авиационных систем в противолавинных работах. В настоящее время институтом также запланировано проведение аналогичных испытаний с использованием БАС для воздействия на облака и туманы.

Основные результаты

Активные воздействия на гидрометеорологические процессы являются приоритетными в нашей работе. В рамках государственного гражданского заказа нашим институтом был приобретен БАС легкого класса «OG-25», со взлётной массой до 30 кг, который подходит для воздействий на облака с целью вызывания осадков [4]. Для воздействия на градоопасные облака необходим беспилотный летательный аппарат тяжёлого класса, который способен нести на себе большее количество реагента, устойчив к восходящим потокам и имеет высоту полёта 5000-8000 метров над уровнем моря.

Компания-производитель закупленного нами дрона ООО «БАС Глори Эйр» совместно с АНО «Агентство Атмосферных Технологий», по техническому заданию, разработанному в нашем институте, создали и вмонтировали в БАС Самолетный аэрозольный комплекс «САГ-26КС» для безгильзовых пиротехнических активных элементов «САГ-26» [5] (рис. 1). Тактико-технические характеристики САГ-26 показаны в таблице 1.

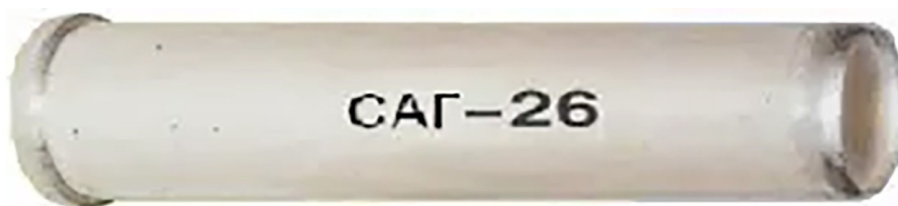


Рисунок 1 - Внешний вид пиротехнического активного элемента «САГ-26»
DOI: <https://doi.org/10.60797/GEO.2026.7.1.1>

Таблица 1 - Тактико-технические характеристики САГ-26

DOI: <https://doi.org/10.60797/GEO.2026.7.1.2>

Диаметр, мм	26
Длина, мм	260
Масса, кг	0,27
Время работы, с	240
Расход состава, г/с	0,3
Выход льдообразующих ядер с одного генератора при температуре -10°C	$1,0 \cdot 10^{15}$
Выход льдообразующих ядер с одного генератор при температуре -6°C	$0,2 \cdot 10^{15}$

Согласно тактико-техническим характеристикам БАС (а именно максимальной полезной нагрузке), удалось установить на него 20 пиротехнических элементов. Время полёта при этом у БАС снизилось до 2-х часов из-за нарушения аэродинамики беспилотника. Испытания с полезной нагрузкой проводились на полигоне производителя БАС. Внешний вид беспилотного летательного аппарата с комплексом «САГ-26КС» показаны на рисунке 2.



Рисунок 2 - Подвес с заряженными аэрозольными генераторами
DOI: <https://doi.org/10.60797/GEO.2026.7.1.3>

В ходе испытаний выполнена серия тестовых полётов, в рамках которой производился поджиг пиротехнических элементов в количестве от одного до двадцати одновременно. Все эксперименты завершились успешно. На рисунке 2 представлен результат воздействия на опорную часть беспилотного аппарата (нижняя её часть приобрела серебристый налёт). На рисунке 3 запечатлён один из полётов, красными стрелочками показан момент начала работы (поджиг), а зелёной стрелочкой штатная работа САГ.

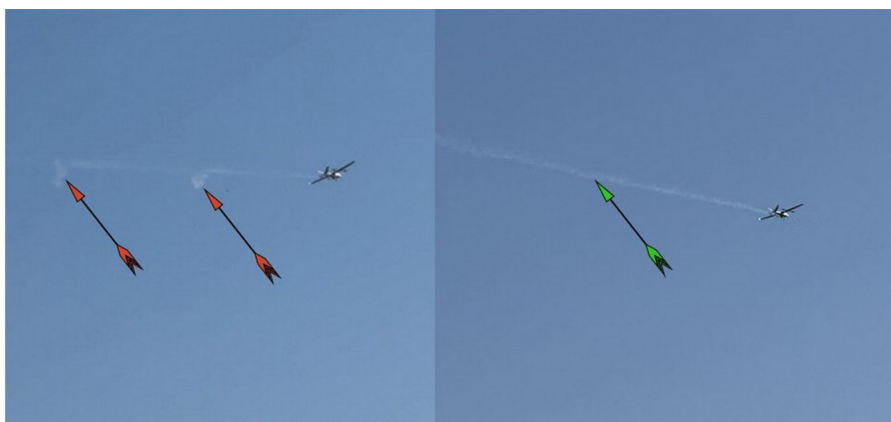


Рисунок 3 - Работа «САГ-26КС» в полёте
DOI: <https://doi.org/10.60797/GEO.2026.7.1.4>

Беспилотная авиационная система «ОГ-25» относится к классу лёгких, что определило выбор метода воздействия на облака с использованием аэрозольного генератора. В качестве альтернативы рассматривалась установка генератора «САГ-26В», оснащённого пиропатронами ПВ-26-01, для активного воздействия на верхнюю часть облачных систем. Однако, учитывая отдачу при отстреле пиропатронов и высоту развивающихся дождевых облаков, превышающую эксплуатационные возможности лёгких БАС, данный способ был признан неприменимым. Вместе с тем применение «САГ-26КС» позволяет воздействовать на малые восходящие потоки по ходу движения облака (рис. 4). Поскольку именно малые восходящие потоки являются основными питающими элементами облака, их обработка кристаллизующими реагентами обеспечивает эффективное насыщение всей облачной системы.

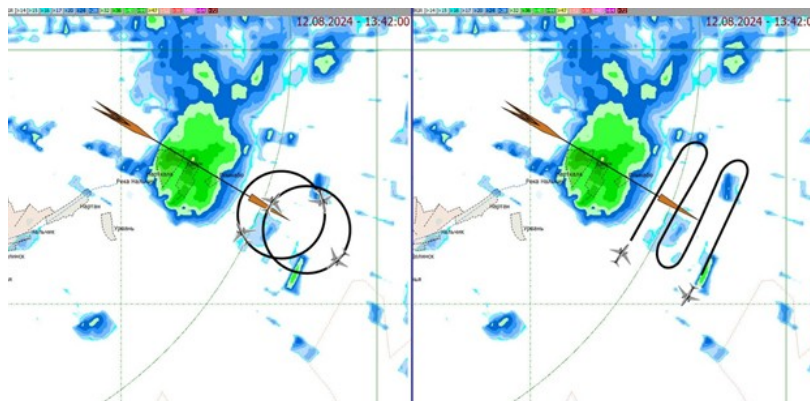


Рисунок 4 - Способы засева облаков
DOI: <https://doi.org/10.60797/GEO.2026.7.1.5>

На рисунке 4 представлены две схемы засева облака, которые предлагается реализовать с помощью беспилотного летательного аппарата. Оранжевой стрелкой на схеме обозначено направление движения облака. Первый способ воздействия рекомендуется применять при малоподвижных облаках, скорость перемещения которых не превышает 20 км/ч, скорость движения облака рассчитывается с помощью радиолокатора. В программе управления Mission Planer движение по кругу легко реализуется командой ожидания в режиме кружения, радиус кружения задаётся, мы считаем, что радиус должен соответствовать размеру облака, оконтуренному отражаемостью в 35 dBz. По мере движения облака радиус кружения также смещается по ходу перемещения. Второй способ подразумевается для быстродвижущихся облачных систем. Засев производится вдоль границы облака с разворотами и смещением по направлению его движения. Зная направление движения и скорость перемещения, несложно проводить воздействие, не влетая в облачную систему.

Обсуждение

Источником естественных атмосферных ядер конденсации является аэрозоль, который образуется в результате некоторых процессов, таких как конденсация и сублимация паров, механического разрушения и рассеяния вещества, а также при коагуляции ядер конденсации. Естественных ядер конденсации, как правило, бывает недостаточно, особенно в верхних слоях облачной системы. Сама идея искусственного вызывания осадков из переохлаждённых облаков базируется на возможности направленного вмешательства в процессы конденсационного роста отдельных облачных элементов за счёт создания в облаках достаточного количества ядер кристаллизации [6], [7].

Применение БАС в задачах активного воздействия на облачные процессы обладает рядом существенных преимуществ по сравнению с традиционными методами, основанными на использовании пилотируемой авиации. К ключевым достоинствам БАС относится более низкая стоимость летного часа, обусловленная меньшими эксплуатационными расходами и отсутствием необходимости в обеспечении безопасности экипажа. Кроме того, использование беспилотных платформ позволяет исключить риски для пилотов при работе в сложных метеорологических условиях, характерных для зон развития конвективной облачности. В то же время использование БАС имеет ряд ограничений. К ним относятся сравнительно меньшая грузоподъёмность и радиус действия по сравнению с пилотируемыми воздушными судами, что ограничивает объём и дальность доставки реагентов в облачные системы. Существенным фактором остаётся зависимость от метеорологических условий, включая сильную турбулентность, обледенение и интенсивные осадки, которые могут ограничивать возможность выполнения полётов.

В ходе совместных испытаний с ООО «БАС Глори Эйр» и АНО «Агентство Атмосферных Технологий» подтверждена возможность применения лёгкого беспилотного летательного аппарата «OG-25», оснащённого самолётным аэрозольным комплексом «САГ-26КС», для активных воздействий на гидрометеорологические процессы — искусственного вызывания осадков и воздействия на туманы. Установлено, что установка 20 пиротехнических элементов «САГ-26» в соответствии с максимальной полезной нагрузкой БАС приводит к снижению времени полёта до 2 часов вследствие изменения аэродинамических характеристик, что необходимо учитывать при планировании операций.

Заключение

Экспериментально доказана надёжность системы поджига: все тестовые полёты с количеством одновременно срабатывающих пиротехнических элементов от одного до двадцати прошли успешно, конструкция беспилотника выдержала эксплуатационные нагрузки. Обоснованы две схемы засева облаков с использованием БАС: круговой облёт для малоподвижных облаков (скорость менее 20 км/ч) и засев вдоль границы облачной системы для быстродвижущихся облаков, что позволяет эффективно обрабатывать малые восходящие потоки — основные питающие элементы облака.

Полученные результаты открывают перспективы для дальнейшего внедрения беспилотных технологий в практику активных воздействий, включая расширение номенклатуры применяемых реагентов и создание специализированных беспилотных платформ.

**Конфликт интересов**

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Корнилов Т.Б. Беспилотные авиационные системы в сельском хозяйстве / Т.Б. Корнилов // Защита и карантин растений. — 2024. — № 2. — С. 11–18. — DOI: 10.47528/1026-8634_2024_2_11
2. Henneberger J. Seeding of supercooled low stratus clouds with a UAV to study microphysical ice processes – An introduction to the CLOUDLAB project / J. Henneberger // Bulletin of the American Meteorological Society. — 2023. — № 1. — DOI:10.1175/BAMS-D-22-0178.1
3. Burger R.P. Modern and prospective technologies for weather modification activities: A first demonstration of integrating autonomous uncrewed aircraft systems / R.P. Burger // Atmospheric Research. — 2023. — № 290. — DOI:10.1016/j.atmosres.2023.106788
4. БАС ГЛОРИ ЭЙР : официальный сайт. — 2025. — URL: <https://basga.ru/og-25> (дата обращения: 01.04.2026).
5. Агентство Атмосферных Технологий : официальный сайт. — URL: http://ru.attech.ru/?page_id=4345 (дата обращения: 01.04.2026).
6. Абшаев А.М. Руководство по организации и проведению противорадовых работ / А.М. Абшаев, М.Т. Абшаев, М.В. Баркова [и др.] — Нальчик : Печатный двор, 2014. — 508 с.
7. Лиев К.Б. Радиолокационные исследования интенсивных градовых процессов в центральной части Северного Кавказа / К.Б. Лиев, С.А. Куцев, В.С. Инюхин и др. // Доклады Всероссийской открытой конференции по физике облаков и активным воздействиям на гидрометеорологические процессы : доклады конференции, Нальчик, 08–10 сентября 2021 года. — Нальчик : Принт Центр, 2021. — С. 226–232.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Kornilov T.B. Bespilotnie aviatsionnie sistemi v selskom khozyaistve [Unmanned aerial systems in agriculture] / T.B. Kornilov // Zashchita i karantin rastenii [Plant Protection and Quarantine]. — 2024. — № 2. — P. 11–18. — DOI: 10.47528/1026-8634_2024_2_11 [in Russian]
2. Henneberger J. Seeding of supercooled low stratus clouds with a UAV to study microphysical ice processes – An introduction to the CLOUDLAB project / J. Henneberger // Bulletin of the American Meteorological Society. — 2023. — № 1. — DOI:10.1175/BAMS-D-22-0178.1
3. Burger R.P. Modern and prospective technologies for weather modification activities: A first demonstration of integrating autonomous uncrewed aircraft systems / R.P. Burger // Atmospheric Research. — 2023. — № 290. — DOI:10.1016/j.atmosres.2023.106788
4. BAS GLORI EIR [BAS GLORY AIR] : official website. — 2025. — URL: <https://basga.ru/og-25> (accessed: 01.04.2026). [in Russian]
5. Agentstvo Atmosfernykh Tekhnologiy [Agency of Atmospheric Technologies] : official website. — URL: http://ru.attech.ru/?page_id=4345 (accessed: 01.04.2026). [in Russian]
6. Abshaev A.M. Rukovodstvo po organizatsii i provedeniyu protivogradovikh rabot [Guidelines for the Organization and Conduct of Hail Suppression Operations] / A.M. Abshaev, M.T. Abshaev, M.V. Berekova [et al.] — Nalchik : Printing House, 2014. — 508 p. [in Russian]
7. Liev K.B. Radiolokatsionnie issledovaniya intensivnykh gradovikh protsessov v tsentralnoi chasti Severnogo Kavkaza [Radar Studies of Intense Hail Processes in the Central Part of the North Caucasus] / K.B. Liev, S.A. Kushchev, V.S. Inyukhin et al. // Doklady Vserossijskoj otkrytoj konferencii po fizike oblakov i aktivnym vozdeystviyam na gidrometeorologicheskie protsessy [Proceedings of the All-Russian Open Conference on Cloud Physics and Active Influences on Hydrometeorological Processes] : conference proceedings, Nalchik, September 8–10, 2021. — Nalchik: Print Tsentr, 2021. — P. 226–232. [in Russian]